

УДК 519.713: 504.064

DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2017.1.05

## ІНФОРМАЦІЙНО-МЕТОДИЧНА ОСНОВА ВИЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СКЛАДНИХ ПРИРОДНО- ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ

Т.В. КОЗУЛЯ, М.О. БІЛОВА

**Анотація.** Визначено основні шляхи удосконалення комплексної системи оцінювання безпечності стану складних природно-техногенних об'єктів з виявленням факторів їх дестабілізації з метою регулювання сталого розвитку і прийняття керувальних заходів. Проаналізовано перспективи впровадження когнітивного моделювання в систему інформаційно-методичного забезпечення оцінки екологічності складних об'єктів. Надано практичну реалізацію запропонованої методики на прикладі прогнозування стану Харківського регіону.

**Ключові слова:** складні об'єкти, комплексна оцінка, безпечність стану, інформаційно-методичне забезпечення, графоаналітичне моделювання, когнітивна карта, компараторна ідентифікація, прогнозні розрахунки.

### ВСТУП

Актуальність роботи визначається розв'язанням завдань сталого соціально-еколого-економічного розвитку в межах прийняття рішення щодо управління якістю системних об'єктів високого рівня складності.

Комплексний характер таких завдань визначається вивченням численних взаємодійних факторів під час дослідження стану і функціональних можливостей динамічного слабоструктурованого утворення природно-техногенної природи. Прийняття рішень за цих умов неможливе лише з використанням підходів, орієнтованих на аналіз кількісних даних, і методів теорії прийняття рішень щодо вибору найкращого варіанта із множини чітко сформованих альтернатив. За умови стохастичної поведінки «об'єкт – навколишнє середовище», невизначеності даних для певної ситуації та інформовативності щодо стану систем дослідження доцільним є звернення до об'єктивних засобів отримання інформації з урахуванням самоорганізаційних можливостей забезпечення рівноважного стану відповідно до змін в об'єкті на рівні «стан системи – процес – зміни в системі».

Вирішенню проблем, пов'язаних із дослідженням слабоструктурованих проблемних областей присвячено праці І.В. Прангішвілі [1], О.П. Кузнецова [2, 3], В.І. Максимова [2], Є.К. Корноушенка [4], Г.В. Горелової [5] та ін. Проблемні питання оцінювання екологічності з позицій стратегії сталого розвитку проаналізовано у науково-методичних працях М.З. Згуровського [6, 7], А.Б. Качинського [8], Б.М. Данилішина [9], А.Г. Шапара [10] та ін. Питання соціально-екологічного змісту відповідно до концепції сталого розвитку розглянуто в методичному сенсі у працях закордонних науковців В. Ness [11], А. Gasparatos [12], L. Xu [13], A.M. Omer [14], D. Dzemydiene [15] та ін.

**Мета роботи** — формування інформаційно-методичного забезпечення комплексної оцінки відповідності стану природно-техногенних об'єктів вимогам екологічної якості з установленням дестабілізуючих факторів і визначенням механізмів регулювання напрямку змін з отриманням безпечності стану систем і їх утворень. У цій роботі розглянуто і вирішено такі питання:

1) системнологічний аналіз забезпечення дослідження стану і функціональності складних слабоструктурованих систем у межах вимог екологічності та безпечності, визначення необхідної інформаційно-методичної підтримки щодо встановлення дестабілізуючих факторів гомеостатичного розвитку систем і їх оцінювання;

2) упровадження когнітивного моделювання в комплекс методичного забезпечення оцінювання стану системних об'єктів різного рівня складності з метою отримання цілісної інформації на рівні «стан системи – процеси змін – рівноважний стан системи (початковий або новий)» для прийняття рішення;

3) практична реалізація запропонованої інформаційно-методичної бази комплексного аналізу та оцінювання якості складних природно-техногенних утворень на прикладі прогнозування розвитку Харківського регіону.

## ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Базовим поняттям комплексного дослідження є поняття системи, під яким розуміється сукупність взаємопов'язаних елементів, об'єднаних виконанням загальної мети і наявністю функціональної цілісності, згідно з якою властивості системи не зводяться до суми властивостей її елементів, а зміна одного з таких елементів призводить до зміни системи в цілому [2]. Складна ієрархічна система визначається як цілісний об'єкт, утворений із функціонально різнотипних систем, структурно взаємопов'язаних ієрархічною підпорядкованістю, і функціонально об'єднаних для досягнення заданих цілей за певних умов [16]. Природно-техногенні об'єкти локального, регіонального і глобального рівнів дослідження визначаються як «системні об'єкти», що характеризуються багатоаспектністю змісту, а звідси і високим рівнем складності відповідно до ієрархічності їх структури, яка містить екологічні, економічні та соціальні системи з різнорідними зв'язками між ними.

Управління системним об'єктом визначається проблемними завданнями регулювання стану і функціональності слабоструктурованих і складних організаційних ієрархічних систем. Завдання полягає у формуванні цілісної системи узгоджених методичних основ роботи одночасно з кількісними і якісними даними, які використовуються для встановлення залежностей у межах досліджуваної проблемної області. Слабка структурованість зумовлюється такими аспектами:

– система понять (факторів) і зв'язків між ними не визначена з достатньою повнотою, велика кількість факторів, зв'язків і параметрів визначається у процесі постановки завдання;

– основні параметри ситуації (значення факторів, ступінь впливу одних факторів на інші) мають якісний характер, тобто задані не числами, а вербальними, нечіткими або інтервальними оцінками;

- значення параметрів в основному отримані не на основі об'єктивних вимірювань, а шляхом експертних оцінок, що збільшує вміст суб'єктивних визначень у кінцевому результаті;

- немає попередньо сформованих альтернатив, їх надають у процесі аналізу відповідно до отриманих проміжних оцінок [3].

Використання формальних методів і відповідних інформаційних технологій для розв'язання наданих вище завдань у межах системи управління потребує підготовки, а саме:

- формування системи факторів і зв'язків між ними — методи структуризації в системному аналізі;

- параметризації отриманої системи факторів і дослідження ймовірностей реалізації зв'язків у межах допустимих областей — метод ланцюгів Маркова;

- формалізації предметної області за рахунок виду функцій, що визначають вплив зв'язків на фактори і методи їх обчислення — когнітивне моделювання [17].

Рішення щодо управління якістю об'єкта мають прийматися відповідно до його структури, характеристик взаємодії його складових частин та їх взаємодії із зовнішнім середовищем [3, 18]. Якість є комплексним показником стану еколого-соціально-економічних систем, властивістю, яка відображає відтворення життя і сталий розвиток суспільства. Показник якості включає в себе два основні елементи: екологічність — відповідність стану та функціональності об'єкта природним вимогам безпеки, і безпечність — характеристика техногенного впливу (дії негативних факторів) та відповідних умов навколишнього середовища з підтримання рівня безпеки для екосистем і людини.

У слабоструктурованих об'єктах велика кількість елементів і зв'язків формують складні причинно-наслідкові послідовності станів, які можуть змінюватися у часі залежно від структури системи і дії факторів зовнішнього середовища [19]. Побудова детермінованих моделей для таких систем неможлива через стохастичний характер процесів. Для проведення цільового об'єктно-орієнтованого аналізу слабоструктурованих систем використовуються основні положення теорії систем і системного аналізу, системного технологічного підходу, правила структуризації різного рівня складності [20, 21]. Для переходу від якісних до кількісних оцінок у практиці наукових досліджень застосовують ланцюги Маркова з визначенням імовірностей станів систем на основі структурної і параметричної подібності їх оригіналів з відповідним відображенням у марківських моделях [22].

У роботі для аналізу слабоструктурованих проблемних областей відповідно до завдань управління екологічною безпекою системних об'єктів пропонується в надану систему методичного забезпечення комплексного оцінювання екологічності природно-техногенних утворень [23–25] упровадити додатково метод когнітивного аналізу (КА). Це дозволяє отримувати обґрунтовану інформацію про поведінку і наслідки дії на системні об'єкти. Когнітивна оцінка базується на результатах розв'язання численних завдань у межах КА: відповідно до визначеної когнітивної карти (КК) — орієнтованого знакового графу, що дозволяє відобразити ситуаційні фактори і причинно-наслідкові зв'язки між ними; дослідження динаміки змін на основі дослі-

дження реакції об'єкта на імпульсні зовнішні дії, що дозволяє визначити тактику і стратегію подальшого управління.

Когнітивне моделювання визначається етапністю дослідження. На першому кроці розробляється когнітивна модель у вигляді КК вигляду

$$G = \langle U, E \rangle,$$

де  $G$  — знаковий оргграф (КК);  $U = \{u_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  — множина концептів КК;  $E = \{e_{i,j}\}$  — множина дуг причинно-наслідкового змісту для  $u_i$  і  $u_j$ .

Етапи КА у дослідженні об'єкта відображають:

- причинно-наслідкові зв'язки (кроки і цикли когнітивної моделі);
- структури моделей з визначенням механізмів функціонування систем;
- стійкість системи до збуджень і структурних змін;
- можливий розвиток процесів у системі шляхом імпульсного моделювання, тобто встановлення динаміки змін у системах [5].

За імпульсного режиму стан системи в момент часу  $t + 1$  визначається як

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^n w(u_i u_j) p_j(t), \quad (1)$$

де  $v_i(t+1)$  — значення фактора  $u_i$  в момент  $t + 1$ ;  $v_i(t)$  — значення концепту  $u_i$  в момент  $t$ ;  $p_j(t)$  — імпульсний сигнал у момент часу  $t$ ;  $w(e_{ij})$  — ваговий коефіцієнт дуги з  $u_i$  в  $u_j$ , що встановлюється таким чином [26]:

$$\begin{cases} w(e_{ij}) = 1, & \text{якщо збільшення } v_i \text{ зумовлює збільшення } v_j; \\ w(e_{ij}) = -1, & \text{якщо збільшення } v_i \text{ зумовлює зменшення } v_j; \\ 0, & \text{немає } e_{ij}. \end{cases}$$

Методичне забезпечення з розв'язання завдань сталого розвитку соціально-еколого-економічних об'єктів будь-якого рівня складності має незавершеність з позиції недоінформованості стосовно поведінки факторів дестабілізації, що впливає на обґрунтованість прийняття рішення [23–25].

В інформаційно-методичному забезпеченні оцінки рівня якості системних об'єктів різного рівня складності у попередніх працях запропоновано проводити послідовно класифікаційний аналіз, метод головних компонент і метод компараторної ідентифікації [23–25], що дозволить загалом визначати фактори дестабілізації стану об'єкта дослідження. Аналітичні дії у методиці спрямовано на визначення управлінської стратегії на макрорівні з позицій розвитку системи і прийняття рішення щодо підвищення її якості. У цій роботі пропонується впроваджувати КА для доповнення інформації з метою обґрунтованості регулювальних дій з усунення перешкод для рівноважного розвитку об'єкта з урахуванням саморегуляції, самоорганізації і стабілізації за дією внутрішніх механізмів і процесів (рис. 1).

Розроблена КК враховує екологічний, економічний і соціальний аспекти функціонування об'єкта, відображає поведінку системного об'єкта у режимі дослідження «стан системи – процес змін – стан досягнення цільової системи»; використовується для аналізу країни в цілому, визначення перспектив розвитку регіону чи окремого підприємства (рис. 2).

- 1) збільшення частки екологічно чистих підприємств;
- 2) збільшення частки екологічно чистого транспорту;

$$v_i(0) = (0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0);$$
$$p_1(0) = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);$$
$$p_2(0) = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0).$$

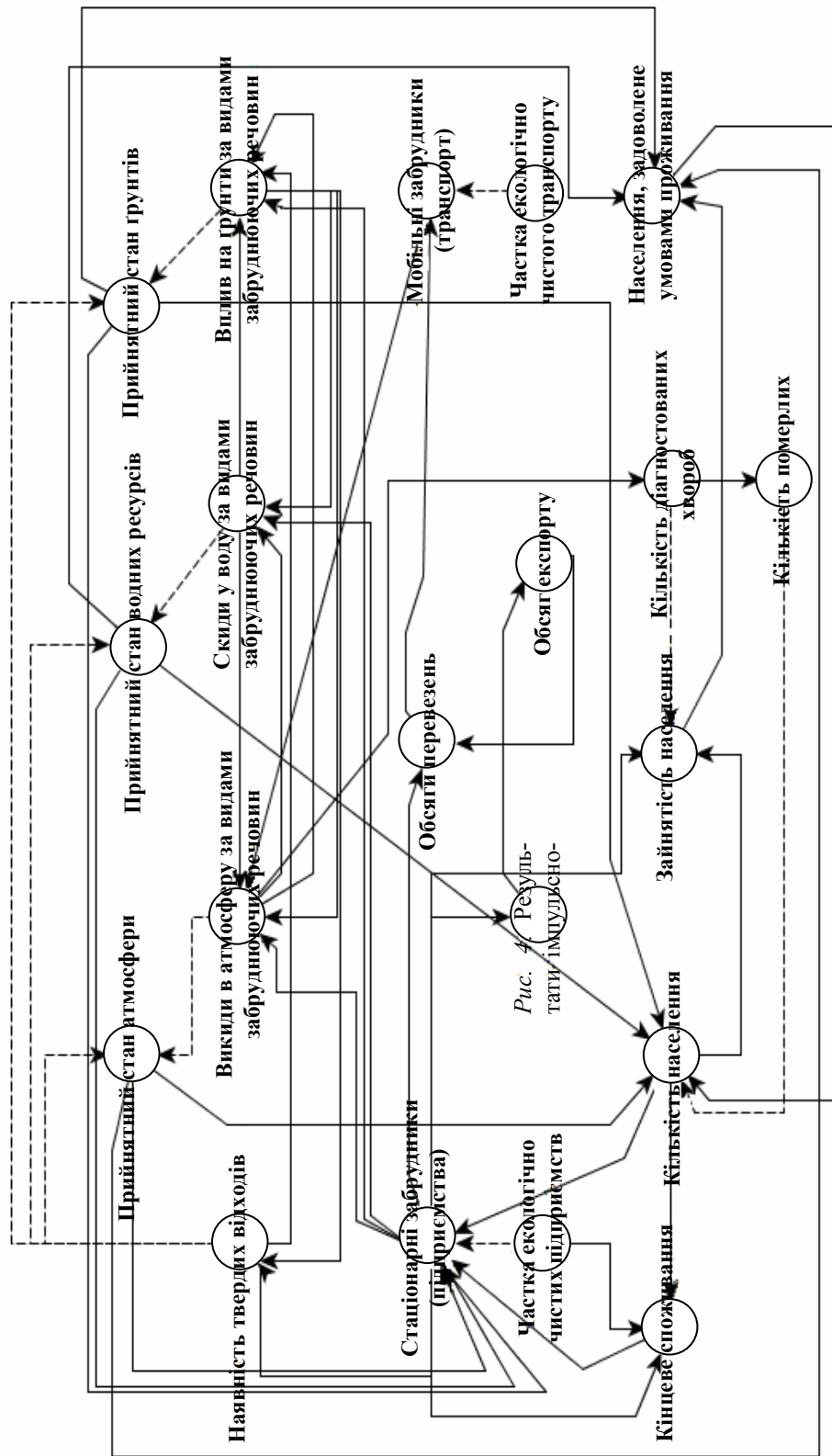


Рис. 2.. Когнітивна модель складного об'єкта з виділенням економічних, екологічних і соціальних аспектів

Дослідження проведено у середовищі MsathCad 14 за відповідними формулами (рис. 3 і 4).

На першому кроці дослідження  $t = 1$

$$v_1^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0

На другому кроці дослідження  $t = 2$

$$v_2^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	0.1	0	0	-0.1	-0.1	0	0	0	-0.1	0	0

На третьому кроці дослідження  $t = 3$

$$v_3^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0.2	0.2	0.2	-0.1	0	0	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0	0	0	-0.1	0	0.1	0	-0.1	0

На четвертому кроці дослідження  $t = 4$

$$v_4^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0.5	0.5	0.6	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	0	0.1	0	0	-0.2	-0.1	0	0.5	0	0	0	-0.1

Рис. 3. Результати імпульсного аналізу для першої альтернативи управління для чотирьох часових відрізків

На першому кроці дослідження  $t = 1$

$$v_1^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0

На другому кроці дослідження  $t = 2$

$$v_2^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0	0	0	0	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0

На третьому кроці дослідження  $t = 3$

$$v_3^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0.1	0	0	0	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0.1	0	0	0	0	0	-0.1	0	0

На четвертому кроці дослідження  $t = 4$

$$v_4^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	0.1	0.1	0.1	0	-0.1	0	0	0	0	-0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0.1	-0.1	-0.1

Рис. 4. Результати імпульсного аналізу для другої альтернативи управління для чотирьох часових відрізків

За отриманими результатами встановлено, що збільшення екологічно чистих підприємств дозволяє підвищити якість атмосферного середовища і водних ресурсів на 50% зі зменшенням викидів у них на 20% (рис. 5).

Таким чином, включення механізмів регулювання з урахуванням механізмів стабілізації в одній із систем шляхом правильного управлінського рішення дозволяє стабілізувати розвиток системного об'єкта загалом.

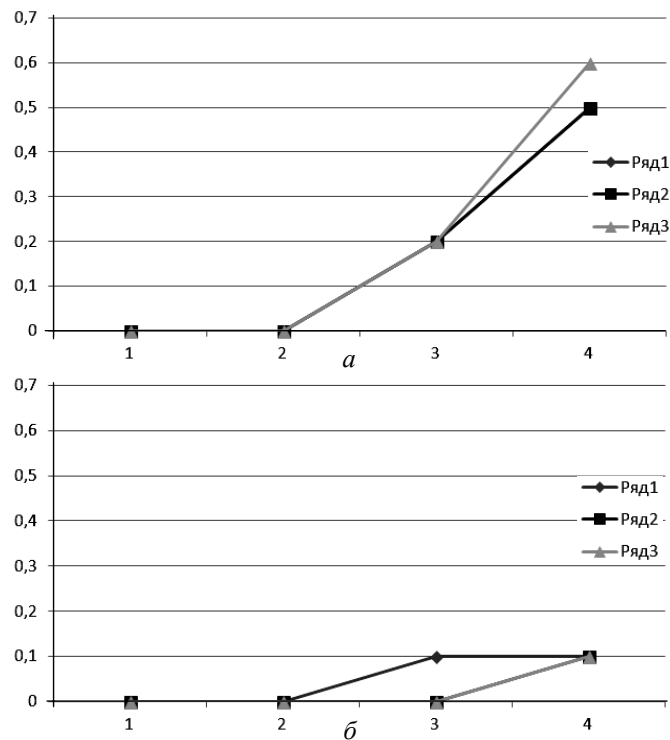


Рис. 5. Залежність стану навколишнього середовища від упровадження екологічно чистих підприємств: ряд 1 — «прийнятний стан атмосфери»; ряд 2 — «прийнятний стан водних ресурсів»; ряд 3 — «прийнятний стан ґрунтів»

## ВИСНОВКИ

Уперше сформовано методичне забезпечення комплексного дослідження в системі екологічної безпеки у контексті концепції сталого розвитку з урахуванням складної ієрархічної структури об'єкта дослідження та виявлення факторів дестабілізації на основі узгодженого застосування положень теорії інформації, синергетики, компараторної ідентифікації, когнітивного аналізу. Уперше запропоновано системність підходу до аналізу складних об'єктів на рівні досліджень «стан системи – процес – стан змін у системі» і їх невідповідностей вимогам безпеки з метою надання комплексної узагальненої оцінки порушень рівноваги «система – навколишнє природне середовище».

Завдяки сформованому інформаційно-методичному забезпеченню комплексної оцінки якості та безпечності природно-техногенних об'єктів на основі запровадження системи послідовних методів аналізу складних систем: класифікації, факторного аналізу — методу головних компонент, компараторної ідентифікації, когнітивного аналізу отримано обґрунтовані об'єктивні управлінські рішення з регулювання сталого розвитку системного об'єкта.

Основні результати роботи:

1) визначено можливості сучасних розробок з методичного забезпечення комплексного аналізу складних об'єктів і доцільності системного формування методичних підходів до вирішення завдань прийняття рішень з регу-



лювання стану і розвитку соціально-еколого-економічних утворень на основі вивчення внутрішніх можливостей систем до саморегулювання і стабілізації, посилення цих механізмів;

2) впроваджено когнітивний аналіз у комплекс методичного забезпечення оцінки стану системних об'єктів різного рівня складності, посилення обґрунтованості отриманих результатів за рахунок можливостей самопідтвердження даних на різних етапах аналізу (рис. 1);

3) розроблено когнітивну модель соціально-еколого-економічного об'єкта дослідження (див. рис. 2) і виконано її практичну апробацію на прикладі комплексного оцінювання стану екологічності та безпечного розвитку Харківського регіону (див. рис. 3–5).

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Прангишвили И.В.* Системные закономерности и системная оптимизация / И.В. Прангишвили. — М. : СИНТЕГ, 2004. — 204 с.
2. *Кузнецов О.П.* Анализ влияния при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт II Человеческий фактор в управлении / О.П. Кузнецов, А.А. Кулинич, А.В. Марковский; под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. — М.: КомКнига, 2006. — С. 313–344.
3. *Кузнецов О.П.* Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем / О.П. Кузнецов // Проблемы управления. — № 3.1. — 2009. — С. 64–72.
4. *Корноушенко Е.К.* Целенаправленное управление состоянием когнитивной линейной модели с ограниченным множеством состояний / Е.К. Корноушенко // Управление большими системами. — 2014. — Вып. 51. — С. 6–25.
5. *Горелова Г.В.* Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем / Г.В. Горелова // Известия Юж. федер. ун-та. Технические науки. — 2013. — №3(140). — С. 239–250.
6. *Згуровський М.З.* Глобальне моделювання процесів сталого розвитку в контексті якості та безпеки життя людей / М.З. Згуровський, Т.А. Маторина, Д.О. Прилуцький, Д.А. Аброськін // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 1. — С. 7–32.
7. *Згуровський М.З.* Сталий розвиток регіонів України / М. З. Згуровський. — К.: НТУУ «КПІ», 2009. — 197 с.
8. *Качинський А.Б.* Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення: моногр. / А.Б. Качинський. — К. : НІСД, 2001. — 312 с.
9. *Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України* / Б.М. Данилишин, С.І. Дорогунцов, В.С. Міщенко [та ін.]. — К.: РВПС України, 1999. — 716 с.
10. *Шапар А.Г.* Сучасні масштабні екологічні проблеми в контексті сталого розвитку / А.Г. Шапар // Екологія і природокористування: зб. наук. праць Ін-ту проблем природокористування і екології НАН України. — К., 2009. — Вип. 12. — С. 6–9.
11. *Ness B.* Categorising tools for sustainability assessment / B. Ness, E. Urbel-Piirsalu, S. Anderberg, L. Olsson // Ecological economics. — 2007. — Vol. 60. — Iss. 3. — P. 498–508.
12. *Gasparatos A.* A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability / A. Gasparatos, M. El-Haram, M. Horner // Environmental Impact Assessment Review. — 2008. — Vol. 28. — P. 286–311.

13. Xu L. Resilience of Social-ecological Systems to Human Perturbation: Assessing Dongting Lake in China / L. Xu, D. Marinova, X. Gu // *Journal of Sustainable Development*. — 2015. — Vol. 8. — №8. — P. 182–200.
14. Omer A. M. Energy, environment and sustainable development / A. M. Omer // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2008. — Vol. 12. — Iss. 9. — P. 2265–2300.
15. Dzemydiene D. Preface to sustainable development problems in the issue / D. Dzemydiene // *Technological and Economic Development of Economy*. — 2008. — Vol. 14(1). — P. 8–10.
16. Холина В.Н. Основы экономики природопользования: учеб. для вузов / В.Н. Холина — СПб.: Питер, 2005. — 672 с.
17. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. — К.: Вид. група БНВ, 2007. — 546 с.
18. Levich A.P. Category-functor modelling of natural systems / A.P. Levich, A.V. Solov'yov // *Cybernetics and Systems*. — 1999. — № 30 (6). — P. 571–585.
19. Бушуев С.Д. Напрями дисертаційних наукових досліджень зі спеціальності «Управління проектами та програмами» / С.Д. Бушуев, В.Д. Гогунський, К.В. Кошкін // *Управління розвитком складних систем*. — 2012. — № 12. — С. 5–7.
20. Гогунський В.Д. Основные законы проектного менеджмента / В.Д. Гогунский, С.В. Руденко // IV міжнар. конф.: «Управління проектами: стан та перспективи». — Миколаїв: НУК, 2008. — С. 37–40.
21. Тюрин О.Г. Управление потенциально опасными технологиями // О.Г. Тюрин, В.С. Кальницкий, Е.Ф. Жегров. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2011. — 288 с.
22. Колеснікова К.В. Розробка марківської моделі станів проектно керованої організації / К.В. Колеснікова, В.О. Вайсман, С.О. Величко // *Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць*. — Вип. 7. — Х.: НТУ «ХП», 2012. — С. 217–222.
23. Козуля Т.В. Методичне забезпечення комплексної оцінки екологічності системних об'єктів методом компараторної ідентифікації / Т.В. Козуля, М.О. Білова // *Системный анализ и информационные технологии: материалы 16-й Междунар. научно-техн. конф. SAIT 2014, Киев, 2014 / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ»*. — К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2014. — С. 107–108.
24. Козуля Т.В. Обоснование методики компараторной идентификации для системы экологического мониторинга на региональном уровне исследования / Т.В. Козуля, М.О. Білова // *Проблеми інформаційних технологій*. — № 02(014). — 2013. — С. 45–49.
25. Козуля Т.В. Удосконалення комплексної методики оцінки екологічності складних систем методом компараторної ідентифікації / Т.В. Козуля, М.О. Білова // *Системный анализ и информационные технологии: материалы 17-й Междунар. научно-техн. конф. SAIT 2015, Киев, 2015 / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ»*. — К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2015. — С. 74–76.
26. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф.С. Робертс: пер. с англ. — М.: Наука, 1986. — 496 с.
27. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. — М.: Мир, 1979. — 512 с.

Надійшла до редакції 09.11.2016